

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СТЕНОВОГО ЗАПОЛНЕНИЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ****В. Н. Деркач<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Д. т. н., директор филиала РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр, Брест, Беларусь, [v-derkach@yandex.ru](mailto:v-derkach@yandex.ru)**Реферат**

Выполнен анализ влияния температурно-влажностных деформаций каменной кладки на трещиностойкость каменных стен каркасных зданий в зависимости от способа их сопряжения с железобетонным монолитным каркасом. Установлены предельные значения длины стен в зависимости от способа опирания каменной кладки и вида кладочных изделий. Показано, что усадка каменной кладки вызывает в стене появление главных растягивающих напряжений, траектории которых совпадают с направлением горизонтальных растворных швов. При этом в стенах с оконными проемами наиболее подверженной трещинообразованию является подоконная область кладки. Приведены зависимости, связывающие жесткость узлов сопряжения стены с вертикальными элементами каркаса с величиной главных растягивающих напряжений, возникающих в стене при нормируемых значениях усадочных деформаций каменной кладки. Предложены конструктивные мероприятия, позволяющие снизить риск образования трещин в стенах каркасных зданий. Данные мероприятия включают устройство разделительного слоя между каменной кладкой и плитой перекрытия, применение податливых связей в узлах сопряжения стенового заполнения с каркасом, а также армирование горизонтальных швов каменной кладки или устройство деформационных швов.

**Ключевые слова:** каменная кладка, температурно-влажностные деформации, разделительный слой, связевые элементы, армирующие сетки.

**INFLUENCE OF TEMPERATURE-HUMIDITY DEFORMATIONS OF MASONRY ON CRACK RESISTANCE OF WALL FILLING IN THE FRAME BUILDINGS****V. N. Derkach****Abstract**

The analysis of the influence of temperature-humidity deformations of masonry on the crack resistance of masonry walls in the frame buildings depending on the method of connection with reinforced concrete frame have been presented. The limit values of length of walls depending on a way of a masonry support and a type of masonry products are established. It is shown that the shrinkage of masonry causes the appearance of the main tensile stresses in the wall, the trajectories of which correspond with the direction of the horizontal mortar joints. Moreover, the window sill area of the masonry in the walls with window openings is most susceptible to cracking. The dependences connecting the stiffness of the wall conjugation nodes with the vertical frame elements with the magnitude of the main tensile stresses arising in the wall at normalized values of the shrinkage deformation of the masonry have been presented. Design measures are proposed to reduce the risk of cracking in the walls of frame buildings. These measures include the installation of a separation layer between the masonry and the floor slab, the use of compliant joints in the conjugation nodes of the wall filling with the frame, as well as the reinforcement of horizontal masonry joints or the installation of expansion joints.

**Keywords:** masonry, temperature-moisture deformation, separation layer, bond elements, reinforcing mesh.

**Введение**

Стабильность размеров кладочных изделий при температурно-влажностных воздействиях является одной из важнейших характеристик, влияющих на трещиностойкость каменной кладки. При увлажнении керамические кладочные изделия и изделия из ячеистого бетона автоклавно-го твердения подвержены набуханию. Потеря влаги в свою очередь вызывает усадочные деформации каменной кладки. Наибольшие значения усадочных деформаций имеют место в кладочных изделиях из бетона на тяжелых и легких заполнителях, в силикатных изделиях и в изделиях из ячеистого бетона автоклавно-го твердения. При набухании кладки обычно не возникает опасных ситуаций, связанных с образованием трещин. Причиной возникновения трещин в стенах, как правило, являются усадочные деформации, обусловленные высушиванием материала кладочных изделий.

В работах [1, 2] показано, что при температурно-влажностных деформациях каменной кладки величина главных растягивающих напряжений, возникающих в каменном заполнении каркасных зданий, ключевым образом зависит от способа сопряжения стен с элементами каркаса. С целью снижения риска возникновения трещин в каменном заполнении последнее должно сопрягаться с вертикальными элементами каркаса при помощи связей, которые обеспечивают устойчивость стены из плоскости, но при этом связи должны быть достаточно податливыми в плоскости стены. Кроме этого, между перекрытием и опирающейся на него стеной рекомендуется устраивать разделительный слой из пленочного материала, позволяющий обеспечить отрыв кладки от перекрытия при его прогибе, а также снизить силы трения между стеной и опорным перекрытием при температурно-влажностных деформациях каменной кладки. Однако на практике данные требования не выполняются, что является одной из причин образования трещин в стенах. Трещины не

только ухудшают эстетический вид стен, но и оказывают негативное влияние на их звукоизоляционные и теплотехнические характеристики, а также огнестойкость и долговечность.

**Оценка трещиностойкости стенового заполнения**

Длину стенового заполнения, в пределах которой не возникают трещины вследствие температурно-влажностных деформаций каменной кладки, можно определить по аналитической зависимости (1), полученной на основании исследований [3–5].

$$l_r \leq -\ln \left( 1 - \frac{\varepsilon_{mt}}{\varepsilon_s \cdot K} \right) \cdot \frac{h}{0,23}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{mt}$  – предельная относительная деформация каменной кладки при осевом растяжении (таблица 1);

$\varepsilon_s$  – деформация кладки, вызванная усадкой и изменением температуры;

$K$  – коэффициент ограничения деформаций по нижнему обрезу стены, принимаемый по таблице 2;

$h$  – высота стены.

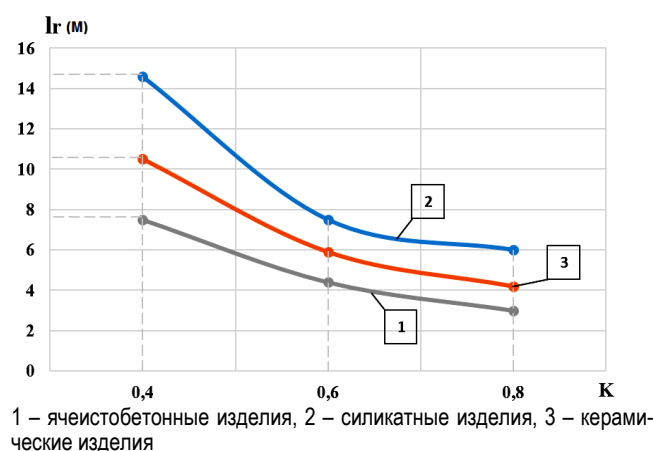
**Таблица 1** – Значения предельных относительных деформаций каменной кладки при осевом растяжении,  $\varepsilon_{mt}$

Вид каменной кладки	$\varepsilon_{mt}$
из силикатных кладочных изделий	1/20000
из керамических кладочных изделий	1/8500
из бетонных кладочных изделий	1/10500
из ячеистобетонных изделий	1/13000
из кладочных изделий из природного камня	1/8500

**Таблица 2** – Значения коэффициента ограничения деформаций каменной кладки,  $K$ 

Значения коэффициента $K$	Вид и конструкция слоя между каменной кладкой и опорным перекрытием
0,4 – 0,6	Два разделительных слоя вплотную друг к другу (например, полиэтиленовая пленка)
0,6 – 0,8	Один разделительный слой
0,8 – 1,0	Без разделительного слоя, кладочный раствор

На рисунке 1 приведены графики зависимости предельной длины стенового заполнения ( $l_r$ ) высотой 2,5 м от условий его опирания на железобетонную плиту перекрытия ( $K$ ), полученные по формуле (1) для различных видов каменной кладки при ее усадке. Значения относительных усадочных деформаций  $\varepsilon_s$  принималось равными 0,4 мм/м для ячеистобетонных и силикатных блоков, 0,2 мм/м для керамических изделий, что соответствует максимальным значениям  $\varepsilon_s$  согласно ТКП 45-5.03-308.

**Рисунок 1** – График зависимости « $l_r - K$ »

Из рисунка 1 следует, что в стеновом ячеистобетонном заполнении каркасов, опирающемся на перекрытие через слой цементно-песчаного раствора, существует риск возникновения усадочных трещин при длине стены, превышающей 3 м. Если опирание стены на перекрытие осуществляется через два слоя пленочного материала (см. таблицу 2), то ее длина, в пределах которой не возникают усадочные трещины, возрастает до 7,5 м. По данным отечественных производителей кладочных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения, их относительные усадочные деформации находятся в пределах 0,2–0,25 мм/м. В этом случае для стен, установленных на перекрытие без разделительного слоя, значение  $l_r$  увеличивается до 5,5–6 м.

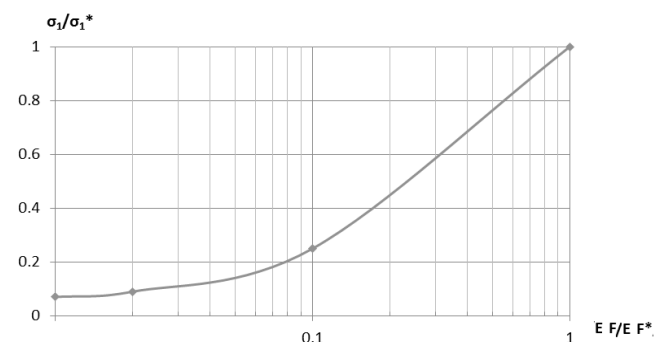
#### Обсуждение результатов оценки трещиностойкости стенового заполнения

Приведенная на рисунке 1 длина стенового заполнения в пределах которой не возникают трещины, рассчитана для идеализированного сплошного заполнения, вертикальные и верхняя грани которого не связаны с элементами каркаса. На практике сопряжение поэтажно опертых стен с колоннами каркаса осуществляется при помощи стальных анкерных связей, закрепляемых к колоннам и устанавливаемых в утолщенных швах кладки. В типовой серии рабочих чертежей узлов и деталей поэтажно опертых стен в качестве таких связей рекомендуется использовать стальные анкерные пластины сечением не менее 100 мм<sup>2</sup>, закрепляемые к колоннам каркаса распорными анкерами и размещаемые в утолщенных швах кладки с шагом не более 1000 мм. Данное техническое решение приводит к росту главных растягивающих напряжений в стене при температурно-влажностных воздействиях и отрицательно отражается на ее трещиностойкости (рисунок 2) [2].

Ситуация усугубляется, если стена имеет оконные или дверные проемы, углы которых являются концентраторами напряжений. Расчеты показывают, что в стенах с оконными проемами наиболее подверженной трещинообразованию является подоконная область кладки, причем в ней ожидается появление вертикальных трещин, развивающихся от одного из нижних углов проема (рисунок 3).

Кроме конструктивных решений сопряжения заполнения с каркасом, на трещиностойкость стен существенное влияние оказывает технология и качество выполнения каменной кладки:

- перевязка кладочных изделий;
- выполнение горизонтальных швов кладки, их толщина, заполнение раствором;
- способ выполнения стыковых швов (с заполнением раствором или пазогребневое соединение без заполнения раствором);
- прочность сцепления кладочных растворов с кладочными изделиями.



$EF^*$  – линейная жесткость полосовой связи сечением 100 мм<sup>2</sup>,  $\sigma_1^*$  – соответствующее максимальное значение главных растягивающих напряжений в стене

**Рисунок 2** – График зависимости « $\sigma_1/\sigma_1^* - EF/EF^*$ »**Рисунок 3** – Характер трещинообразования в заполнении с оконным проемом при усадке каменной кладки

#### Мероприятия, повышающие трещиностойкость стенового заполнения

Основным методом повышения сопротивления каменной кладки трещинообразованию является армирование горизонтальных растворяющих швов стальными сетками. В соответствии с классификацией, принятой в стандарте СТБ EN 845-3, для армирования горизонтальных швов каменной кладки применяются следующие виды арматурных изделий:

- сварные сетки из стальной проволоки, состоящие из продольных стержней, сваренных с поперечными стержнями (сетка решетчатого типа) или с непрерывно расположенными под углом стержнями (сетка зигзагообразного типа);
- плетеные стальные сетки, изготавливаемые посредством очередного обвивания поперечными проволоочными стержнями продольных стержней;
- просечно-вытяжные сетки, получаемые посредством вытяжки листовой стали, в которой предварительно в определенном порядке выполнены прорезы.

Для армирования тонкослойных швов применяются оцинкованные сварные сетки зигзагообразного типа, состоящие из пластин сечением 8×1,5 мм, соединенных проволокой диаметром 1,5 мм (рисунок 4).

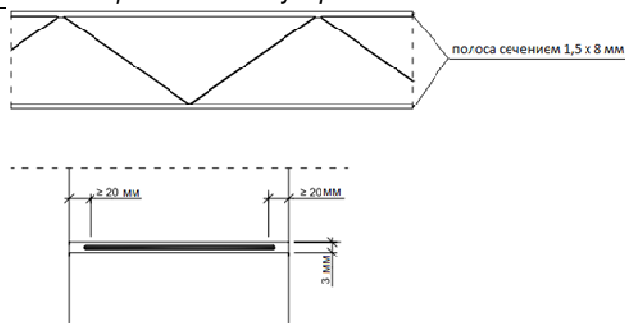


Рисунок 4 – Армирование тонкослойных горизонтальных швов каменной кладки

В последнее время все более широкое применение для армирования тонкослойных швов каменной кладки находят рулонные сетки, продольные стержни которых выполняются из проволоки диаметром 1,25 мм, а поперечные из проволоки диаметром 0,65 мм (рисунок 5).



Рисунок 5 – Рулонные проволочные сетки

В зависимости от условий применения сетки окрашиваются в белый, голубой и красный цвета. Сетки белого цвета защищены оцинкованием и применяются для армирования кладок из ячеистобетонных изделий на тонкослойных швах в среде эксплуатации МХ1. Сетки голубого цвета изготавливаются из нержавеющей стали и предназначены для возведения наружных стен в классах эксплуатации МХ2, МХ3, МХ4. Сетки красного цвета защищены оцинкованием и применяются для кладок из керамических, силикатных и бетонных изделий в среде эксплуатации МХ1.

В сплошной стене арматура располагается равномерно по ее высоте, при этом площадь поперечного сечения арматуры согласно ТКП 45-5.03-308, должна составлять не менее 0,03% площади поперечного сечения стены.

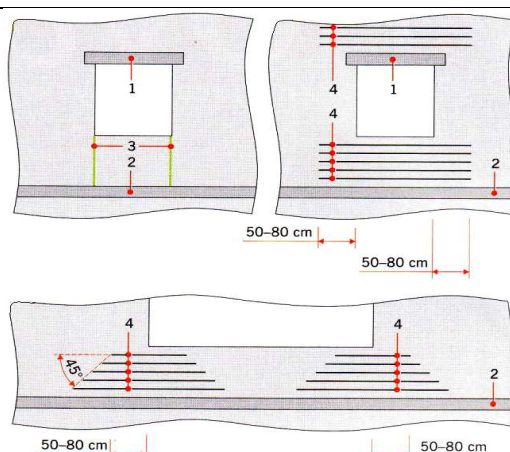
С целью минимизации риска возникновения трещин в стене с проемом возможно устройство деформационных швов по вертикальным граням проема или армирование каменной кладки в зоне оконных проемов (рисунок 6) [6].

Деформационные швы снижают уровень растягивающих напряжений в каменной кладке при температурно-усадочных деформациях, а армирование воспринимает растягивающие напряжения и выравнивает деформации каменной кладки в подоконном поясе стенового заполнения. Если ширина оконного проема < 2,5 м, то армирование выполняется непрерывным по длине проема, при этом арматурные сетки заводятся за его вертикальную грань на 50–80 см. При ширине проема ≥ 2,5 м, арматурные сетки в подоконном поясе стены допускается устанавливать только в угловых зонах проема.

#### Заключение

На основании изложенного можно сделать следующее заключение:

1. Силы трения, возникающие между каменной кладкой и опорным диском перекрытия, оказывают существенное влияние на трещиностойкость стенового заполнения каркасных зданий при температурно-влажностных воздействиях. Для снижения риска возникновения трещин в стеновом заполнении между каменной кладкой и опорным перекрытием следует устраивать раздельный слой из одного-двух слоев пленочного материала.



1 – перекрытка, 2 – перекрытие, 3 – деформационный шов, 4 – армирование горизонтальных швов каменной кладки

Рисунок 6 – Методы повышения трещиностойкости стен с проемами

2. Стеновое заполнение должно соединяться с вертикальными элементами каркаса при помощи связей, обеспечивающих устойчивость стены из плоскости и свободу деформаций каменной кладки в плоскости стены.
3. Эффективным способом повышения трещиностойкости каменной кладки при температурно-влажностных воздействиях является сетчатое армирование горизонтальных растворных швов. Минимальная площадь сечения арматуры должна составлять 0,03% площади поперечного сечения стены. В сплошных стенах арматурные сетки следует располагать равномерно по высоте стены. В стене с оконным проемом возможно устройство деформационных швов по вертикальным граням проема или армирование подоконного пояса каменной кладки.

#### Список цитированных источников

1. Деркач, В. Н. Трещиностойкость ячеистобетонных стен зданий с монолитным железобетонным каркасом / В. Н. Деркач // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. научн. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 155–168.
2. Деркач, В. Н. Проблемы трещиностойкости стенового заполнения каркасных зданий из ячеистобетонных блоков / В. Н. Деркач, А. С. Горшков, Р. Б. Орлович // Строительные материалы. – 2019. – № 3. – С. 52–56.
3. Brameshuber, W. Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk / W. Brameshuber Wolfgang, P. Schubert, U. Schmidt, J. Hannawald // Mauerwerk. – 2006. – № 10, Heft 4. – P. 132–139.
4. Schubert, P. Zur rissfreien Länge von nichttragenden Mauerwerkswänden / P. Schubert // Mauerwerk-Kalender. – 1988. – P. 473–488.
5. Schubert, P. Vermeiden von schädlichen Rissen / P. Schubert // Mauerwerksbau-Praxis, Bauwerk Verlag GmbH. – 2007. – P. 213–237.
6. Polubinski, T. Zabezpieczenie konstrukcji murowych przed zarysowaniem przed zbrojenie spoin wspomnych / T. Polubinski, L. Drobic, R. Jokiel // Materiały i technologie. – 2019. – № 4. – P. 110–116.

#### References

1. Derkach, V. N. Crack resistance of cellular concrete walls of buildings with monolithic reinforced concrete framework / V. N. Derkach // Problems of modern concrete and reinforced concrete: collection of scientific works / In-t BelNIIS; editorial board : O. N. Leshkevich [and oth.]. – Minsk, 2018. – Vol. 10. – P. 155–168.
2. Derkach, V. N. Problems of crack resistance of wall filling of framework buildings from cellular concrete blocks / V. N. Derkach, A. S. Gorshkov, R. B. Orlovich // Construction materials. – 2019. – № 3. – P. 52–56.
3. Brameshuber, W. Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk / W. Brameshuber Wolfgang, P. Schubert, U. Schmidt, J. Hannawald // Mauerwerk. – 2006. – № 10 Heft 4. – P. 132–139.
4. Schubert, P. Zur rissfreien Länge von nichttragenden Mauerwerkswänden / P. Schubert // Mauerwerk-Kalender. – 1988. – P. 473–488.
5. Schubert, P. Vermeiden von schädlichen Rissen / P. Schubert // Mauerwerksbau-Praxis, Bauwerk Verlag GmbH. – 2007. – P. 213–237.
6. Polubinski, T. Zabezpieczenie konstrukcji murowych przed zarysowaniem przed zbrojenie spoin wspomnych / T. Polubinski, L. Drobic, R. Jokiel // Materiały i technologie. – 2019. – № 4. – P. 110–116.

Материал поступил в редакцию 18.10.2019

Строительство и архитектура